

=US 5493512



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Numéro de publication : **0 496 661 A1**

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt : **92400147.2**

(51) Int. Cl.⁵ : **G01P 5/14, G01P 5/16,
G01F 1/72, G01F 1/36**

(22) Date de dépôt : **21.01.92**

(30) Priorité : **22.01.91 FR 9100691**

(43) Date de publication de la demande :
29.07.92 Bulletin 92/31

(84) Etats contractants désignés :
**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU MC NL
PT SE**

(71) Demandeur : **CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)
15, Quai Anatole France
F-75700 Paris Cedex 07 (FR)**

(72) Inventeur : **Peube, Jean-Laurent
7, rue des Couteliers
F-86530 Naintré (FR)**
Inventeur : **Amiot, Denis
Rue St-Pierre et Miquelon
F-50420 Tessy Sur Vire (FR)**

(74) Mandataire : **Martin, Jean-Jacques et al
Cabinet REGIMBEAU 26, Avenue Kléber
F-75116 Paris (FR)**

(54) Procédé et dispositif de mesure de vitesse d'écoulement instationnaire.

(57) La présente invention concerne un procédé de mesure de la vitesse d'écoulement instationnaire d'un fluide, caractérisé par le fait qu'il comprend les étapes consistant à : i) détecter les instants où l'accélération du fluide est nulle, ii) définir une mesure de la vitesse du fluide aux instants où l'accélération est nulle, et iii) déterminer les évolutions de la vitesse entre les instants d'accélération nulle par intégration numérique de l'écart entre deux pressions statiques.

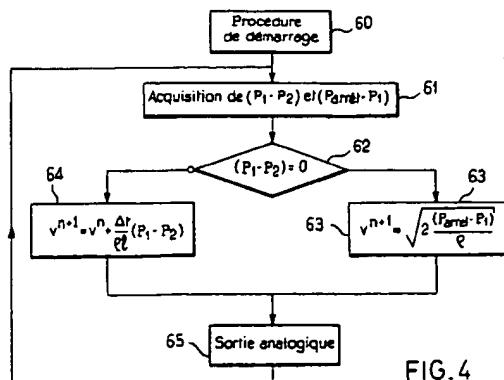


FIG. 4

EP 0 496 661 A1

La présente invention concerne le domaine de la mesure de vitesse d'un fluide en écoulement instationnaire.

Les mesures de vitesse sont des éléments essentiels à l'optimisation des processus industriels.

On a déjà proposé de nombreuses méthodes de mesure de la vitesse d'un fluide en écoulement continu et permanent.

A titre d'exemples, on peut citer des méthodes directes mettant en oeuvre des flotteurs, une chronophotographie, une vélocimétrie laser ou encore des moulinets et des méthodes indirectes mettant en oeuvre une mesure de la pression dynamique dans le fluide, une mesure de la masse volumique du fluide en écoulement, ou encore des méthodes à fil et film chauds.

Dans le cas de fluides incompressibles, non visqueux, en écoulement continu et permanent, la méthode de mesure de vitesse fondée sur la mesure de la pression cinétique exploite l'équation de Bernoulli sous sa forme intégrée :

$$(1) \quad p + \rho g z + \frac{1}{2} \rho U^2 = \text{cte}$$

avec

p = pression statique locale dans le fluide,

ρ = masse volumique locale du fluide,

g = champ de la pesanteur,

z = altitude,

U = module de la vitesse.

Pour des gaz, les variations de $\rho g z$ peuvent être considérées comme nulles.

La pression d'arrêt ou pression totale p_i peut être exprimée sous la forme :

$$(2) \quad p_i = p + \frac{1}{2} \rho U^2.$$

Le module de la vitesse peut donc être obtenu par différence entre la pression d'arrêt p_i et la pression statique p :

25

$$(3) \quad U = \sqrt{\frac{2(p_i - p)}{\rho}}$$

30

Cependant, les écoulements instationnaires rendent les opérations de mesure de vitesse particulièrement délicates. Diverses mesures de vitesse utilisées pour des fluides en écoulement continu et permanent ne sont pas applicables à des fluides en écoulement instationnaire.

En particulier, la mesure de vitesse fondée sur la mesure de la pression cinétique, qui a été rappelée ci-dessus, n'est pas exploitable pour des écoulements instationnaires. En effet, l'équation de Bernoulli (1) rappelée précédemment n'est pas applicable à ceux-ci, puisque comme cela sera indiqué par la suite, les équations de la mécanique des fluides en écoulement instationnaire font notamment intervenir la dérivée temporelle de la vitesse.

En conséquence, les méthodes couramment appliquées jusqu'ici pour mesurer la vitesse de fluides en écoulement instationnaire, consistent essentiellement en l'emploi de l'anémométrie à fil chaud ou bien de la vélocimétrie Laser à effet Doppler. Cependant la mise en oeuvre de ces techniques coûteuses, délicates et sophistiquées, est peu aisée et particulièrement mal adaptée à une utilisation en site industriel.

La présente invention a pour but d'éliminer les inconvénients de la technique antérieure.

Ce but est atteint selon la présente invention grâce à un procédé comprenant les étapes qui consistent à :

- 45 i) détecter les instants où l'accélération du fluide est nulle,
- ii) définir une mesure de la vitesse du fluide aux instants où l'accélération est nulle, et
- iii) déterminer les évolutions de la vitesse entre les instants d'accélération nulle par intégration numérique de la différence de pression entre deux pressions statiques.

Comme cela sera précisé par la suite, le procédé de mesure conforme à la présente invention permet un contrôle industriel de débits fortement pulsés en alliant prix réduit, simplicité de mise en oeuvre et fiabilité.

La présente invention concerne également un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé précité.

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre et en regard des dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs et sur lesquels :

- 55 - la figure 1 représente une vue schématique d'un obstacle du type tube de Pitot équipé de trois prises de pression, conforme à un premier mode de réalisation de la présente invention,
- les figures 2A, 2B et 2C représentent schématiquement différentes configurations d'autres modes de réalisation,

- la figure 3 représente une vue plus précise d'un obstacle du type tube de Pitot équipé de trois prises de pression conforme au premier mode de réalisation,
 - la figure 4 représente un organigramme du procédé de mesure mis en oeuvre par ce premier mode de réalisation,
 - 5 - la figure 5 représente les résultats de mesure obtenus à l'aide du premier mode de réalisation,
 - les figures 6 et 7 illustrent schématiquement un autre mode de réalisation conforme à la présente invention, et
 - la figure 8 représente schématiquement une variante de réalisation.
- Dans la suite de la description, on va tout d'abord expliquer les caractéristiques essentielles du procédé de mesure de vitesse conforme à la présente invention, avant de décrire des modes de réalisation particuliers mettant celui-ci en oeuvre.

CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES DE L'INVENTION

- 15 Les équations de la mécanique des fluides en écoulement instationnaire font intervenir les dérivées temporelle et spatiale de la vitesse et le gradient de pression :

$$20 \quad (4) \quad \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + \vec{V} \cdot \overline{\text{grad}} \vec{V} = - \frac{1}{\rho} \overline{\text{grad}} p$$

Par intégration spatiale de la relation (4) on voit que la pression peut être exprimée comme une intégrale de volume de la vitesse et de sa dérivée par rapport au temps.

25 Les inventeurs ont ainsi déterminé qu'il était possible de connaître la vitesse locale et instantanée d'un écoulement instationnaire à partir de mesures de pression, en passant par une intégration temporelle et une propriété d'intégrale spatiale de la vitesse.

30 Cette propriété intégrale peut être obtenue au moyen de l'un des théorèmes généraux de la mécanique des fluides : théorème des débits de quantités de mouvements, théorème de l'énergie cinétique, deuxième théorème de Bernoulli pour les écoulements à potentiel, ...

Contrairement au cas des écoulements permanents, la présence de la dérivée temporelle de la vitesse dans la relation (4) montre qu'il n'est pas possible d'obtenir une relation locale et instantanée entre la vitesse et la pression, et qu'une intégration temporelle est donc nécessaire.

De là, les inventeurs ont proposé le procédé conforme à la présente invention, qui comme indiqué précédemment, comprend les étapes consistant à :

- i) détecter les instants où l'accélération $\partial V / \partial t$ du fluide est nulle,
- ii) définir une mesure de la vitesse du fluide aux instants où l'accélération est nulle, et
- iii) déterminer les évolutions de la vitesse entre les instants d'accélération nulle par intégration numérique de l'écart entre deux pressions statiques.

DESCRIPTIF GENERAL D'UN PREMIER MODE DE REALISATION

Pour réaliser pratiquement un premier dispositif de mesure de vitesse instationnaire par capteurs de pression, les inventeurs proposent, comme représenté sur la figure 1 annexée, d'utiliser un obstacle 10 placé dans 45 le fluide en écoulement (un obstacle analogue à un tube de Pitot par exemple) et sur lequel sont placées des prises de pression 14, 16 et 18.

Si $V_0(t)$ désigne la vitesse dans laquelle est placé cet obstacle, la pression en un point de l'obstacle vérifie une loi ayant la forme (5) :

$$50 \quad (5) \quad \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \frac{V^2}{2} + \frac{p}{\rho} = \text{cte}$$

dans laquelle Φ désigne le potentiel des vitesses et V la vitesse au point considéré, ces deux grandeurs étant proportionnelles à la vitesse $V_0(t)$ extérieure à l'obstacle, les constantes de proportionnalité ne dépendant que de la position du point sur l'obstacle.

En appliquant la relation (5) en deux points M_1 et M_2 au même instant, on obtient une relation de la forme 55 (6) :

$$(6) \quad a \frac{dV_0}{dt} + b \frac{V_0^2}{2} + \frac{p_1 - p_2}{\rho} = 0$$

où a et b sont deux constantes qu'on peut calculer ou mesurer en écoulement permanent par les méthodes

classiques de la mécanique des fluides.

La connaissance de $V_0(t)$ à partir des mesures de $p_1 - p_2$ peut ainsi être obtenue en théorie par l'intégration numérique de l'équation différentielle (6) ; si l'acquisition de la mesure de la différence des pressions $p_1 - p_2$ est faite au moyen d'un système micro-informatique, le microprocesseur du système peut être programmé pour effectuer cet intégration numérique au fur et à mesure de l'acquisition des données.

Cependant, l'intégration numérique de l'équation différentielle (6) entraîne des erreurs numériques qui peuvent conduire à une valeur erronée si un recalage régulier des valeurs obtenues pour V n'est pas effectué.

Dans ce but, les inventeurs proposent d'exploiter le fait que la relation (6) fournit directement la valeur de la vitesse $V_0(t)$ au moment où l'accélération $V_0'(t)$ est nulle. Plus précisément, on peut repérer directement l'instant correspondant sur la mesure de $p_1 - p_2$ pour pouvoir calculer la vitesse V_0 à cet instant de manière indépendante du processus d'intégration numérique de $V_0(t)$.

Ceci peut être réalisé, comme représenté sur la figure 1 annexée, en aménageant sur l'obstacle 10 une zone cylindrique 12 parallèle à la vitesse $V_0(t)$ du fluide en écoulement instationnaire et sur laquelle on a placé deux prises de pression statique 14, 16, distantes de 1 et entre lesquelles la différence de pression est égale à $p_1 dV_0/dt$. Entre ces prises de pression, la relation (6) se réduit à (7) :

$$(7) \quad \frac{dV_0}{dt} + \frac{p_1 - p_2}{p_1} = 0$$

De façon connue en soi, les prises de pression statique 14, 16 peuvent être formées de petits orifices pratiqués dans la partie cylindrique de l'obstacle 10 et reliés à des manomètres respectifs.

De préférence, le système représenté sur la figure 1 comprend également une prise de pression 18 sensible à la pression dynamique au point d'arrêt. Cette prise de pression d'arrêt 18 peut être formée d'un petit orifice pratiqué sur le nez de l'obstacle (formé de préférence d'une calotte hémisphérique), au point d'arrêt et relié à un manomètre.

Dans ce cas, le procédé conforme à la présente invention comprend essentiellement les étapes qui consistent à :

- i) détecter les instants où l'accélération du fluide est nulle, par détection de l'égalité entre les deux pression statiques p_1 et p_2 mesurées par les prises 14, 16,
- ii) définir une mesure de la vitesse du fluide aux instants où l'accélération est nulle sur la base de la pression d'arrêt mesurée par la prise 18 et de la pression statique p_1 mesurée par la prise 14, à l'aide de la relation :

$$(8) \quad V = \sqrt{2 \frac{(p_{\text{arrêt}} - p_1)}{p_1}}, \text{ et}$$

- iii) déterminer les évolutions de la vitesse entre les instants d'accélération nulle par intégration numérique de l'équation (6) précitée.

Pour cette étape iii), on peut également effectuer l'intégration directe de l'équation (7) qui est évidemment plus rapide que celle de (6) puisqu'il n'est pas nécessaire de calculer V_0^2 à chaque instant.

DESCRIPTIF GENERAL D'UN SECOND MODE DE REALISATION

Il est intéressant de choisir une prise de pression sensible à la pression dynamique au point d'arrêt comme représenté sur la figure 1.

Cependant, on peut procéder d'autres manières : par exemple, en écoulement interne, on peut provoquer une variation de vitesse au moyen d'un rétrécissement de section comme représenté sur les figures 2A, 2B et 2C annexées.

On aperçoit sur la figure 2A une conduite profilée 20 comportant une première partie 22 convergeante qui aboutit à une deuxième partie 24 cylindrique. Deux prises de pression statique 25, 26 placées sur la partie cylindrique 24 mesurent des pressions p_1, p_2 ; Une autre prise de pression placée dans la première partie 22 mesure la pression p_3 .

On aperçoit sur la figure 2B une autre conduite 32 comportant un rétrécissement 32. Deux prises de pression statique 35, 36 placées sur la partie cylindrique 34 de section constante de la conduite, mesurent des pressions p_1, p_2 . Une troisième prise de pression statique 37 placée sur le rétrécissement 32 mesure la pression p_3 .

On aperçoit sur la figure 2C une autre conduite 40 comportant un rétrécissement 42. Deux prises de pression statique 45, 46 placées sur le rétrécissement 42 mesurent des pressions p_1, p_2 . Une troisième prise de pression statique 47 placée sur la partie la plus large de la conduite 40 mesure la pression p_3 .

On peut alors à l'aide de l'un des systèmes représentés sur les figures 2A, 2B ou 2C mesurer la vitesse du fluide concerné à l'aide des étapes consistant à :

- i) détecter les instants où l'accélération du fluide est nulle par détection de l'égalité entre les deux pressions

statiques p_1, p_2 mesurées par les prises 25 et 26 ou 35, 36 ou 45 et 46,

ii) définir une mesure de la vitesse du fluide aux instants où l'accélération est nulle sur la base de la différence de pression $p_1 - p_3$ mesurée par les prises correspondantes telles que 35 et 37 ou 45 et 47, à l'aide de la relation:

$$5 \quad (9) \quad V = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_3)}{\rho}}, \text{ et}$$

iii) déterminer les évolutions de la vitesse entre les instants d'accélération nulle par intégration de la différence $p_1 - p_2$.

Toutes les géométries des dispositifs mesurant des pressions statiques ou totales en écoulement permanent peuvent donc être utilisées dans le cadre du procédé conforme à la présente invention, pour obtenir des vitesses instationnaires d'écoulements pulsés unidimensionnelles en temps réels, à condition toutefois que le théorème de Bernouilli permanent puisse être appliqué instantanément au moment où l'accélération est nulle : ceci suppose que le dispositif utilisé ne présente pas de décollement, ce qui exclut toutes les géométries ne présentant pas un profil aérodynamique (tels que des diaphgrammes en écoulement interne).

15 Selon les modes de réalisation précédemment décrits, la détection des instants où l'accélération du fluide est nulle est opérée par détection de l'égalité des indications mesurées par deux prises de pression statique. On peut également opérer la détection des instants où l'accélération du fluide est nulle par calcul de la vitesse en cours.

20 PREMIER MODE DE REALISATION PARTICULIER

Les inventeurs ont réalisé un premier système de mesure comprenant un obstacle en forme d'antenne de Pitot équipé de trois prises de pression, tel qu'ilustré sur la figure 3 annexée. Les caractéristiques géométriques de ce système de mesure respectent la Norme ISO 3966-1977 (F) des tubes de Pitot. Le respect de la norme a été choisi à titre d'exemple.

Plus précisément, on aperçoit sur la figure 3, un obstacle 50 similaire à celui de la figure 1 comprenant une première partie cylindrique 52 de section constante s'étendant parallèlement à l'écoulement instationnaire et prolongé à son extrémité arrière 53 par une seconde partie 54 transversale à l'écoulement instationnaire. Le nez 56 de la première partie cylindrique 52 est effilé, selon une enveloppe convexe régulière. Les parties cylindriques 52 et 54 possèdent de préférence le même diamètre d.

30 La zone de transition 55 qui relie les deux parties 53 et 54 a la forme générale d'un quart de tore possédant un rayon moyen égal à 3d. Une première prise de pression statique p_1 est prévue à distance du nez 56, sur la partie cylindrique 52. La première prise de pression 51 p_1 est prévue typiquement à une distance 8d du nez 56.

35 Une seconde prise de pression statique 57 p_2 est prévue en aval de la première, sur la partie cylindrique 52. La seconde prise de pression 57 est placée typiquement à une distance de la première prise il égale à 100mm. La seconde prise 57 est placée de préférence à une distance 8d de l'axe de la seconde partie 54.

40 Une troisième prise de pression 58 est ménagée axialement au sommet du nez 56 pour être sensible à la pression d'arrêt. Un premier capteur de pression différentielle c_1 est placé entre les prises de pression 51 et 58. Il fournit un signal représentatif de la différence de pression $p_{arrêt} - p_1$. Un second capteur de pression différentielle c_2 est placé entre les prises de pression 51 et 57. Il fournit un signal représentatif de la différence de pression $p_1 - p_2$. Le cas échéant ces pressions différentielles pourraient être obtenues à partir de trois capteurs de pression absolue, placés respectivement au niveau des trois prises de pression indiquées précédemment.

45 La prise de pression 51 p_1 , reliée à la fois aux capteurs c_1 et c_2 , a été doublée pour que la longueur de la liaison pneumatique allant à c_1 n'ait pas d'effet sur la mesure faite par c_2 et réciproquement. Les capteurs de pression c_1 et c_2 sont reliés par l'intermédiaire de préamplificateurs à un micro-ordinateur ou à une petite interface électronique assurant les fonctions suivantes :

- Acquisition des pressions ($p_{arrêt} - p_1$) et ($p_1 - p_2$);
- Calcul de la vitesse de débit ;
- Sortie d'un signal analogique proportionnel à la vitesse.

Le système ainsi décrit et représenté sur la figure 3 exploite aux instants où $(p_1 - p_2) = 0$ (c'est-à-dire : à chaque extremum de vitesse), le théorème de Bernouilli (loi des écoulements permanents) :

$$55 \quad (10) \quad p_1 + \frac{\rho v^2}{2} = p_{arrêt} \quad \text{soit (8) } v = \sqrt{\frac{2(p_{arrêt} - p_1)}{\rho}}$$

Cela permet à la fois d'engager le processus de calcul de la vitesse et de le recaler à chaque extremum de vitesse.

Après discréttisation, le schéma de calcul devient :

$$(11) \quad v^{n+1} = v^n + \frac{\Delta t}{\rho_1} (p_1 - p_2)$$

quand $(p_1 - p_2) = 0$ on a : (8) $v = \sqrt{2 \frac{p_{\text{arrêt}} - p_1}{\rho}}$

5 Ce schéma de calcul a été choisi à titre d'exemple. Une autre mode d'intégration numérique peut être choisie pour augmenter la précision du calcul.

L'organigramme du processus de calcul est représenté sur la figure 4.

Après une phase de démarrage 60, le micro-ordinateur ou l'interface électronique procède à l'étape 61 à l'acquisition de pressions différentielles $p_1 - p_2$ et $p_{\text{arrêt}} - p_1$.

10 L'étape 61 est suivie d'une étape de test 62 correspondant à l'étape i) précitée au cours de laquelle le micro-ordinateur ou l'interface électronique détecte si les pressions p_1 et p_2 sont égales.

Dans l'affirmative, l'étape de test 62 est suivie d'une étape d'initiation du calcul de la vitesse et de recalage de celle-ci à chaque extremum sur la base de la relation (8). L'étape 63 correspond à l'étape ii) précitée.

15 Lorsque l'étape de test 62 est négative, elle est suivie de l'étape d'intégration 64, sur la base de l'équation (8). Cette étape 64 correspond à l'étape iii) précitée. La vitesse est exprimée au cours de l'étape 65.

La rapidité des systèmes informatiques modernes (micro-ordinateur type PC) permet d'effectuer ce calcul en temps réel. Pendant un temps Δt (1/5000 sec.), le système réalise l'acquisition des pressions, le calcul de la vitesse correspondante et délivre un signal analogique proportionnel à la vitesse d'écoulement.

20 Le système réalisé conformément à la figure 3 a permis de mesurer la vitesse de débit d'un écoulement instationnaire formé par l'écoulement pulsé à l'admission d'un moteur automobile. Cette mesure, comparée à celle d'un anémomètre à fil chaud, est tout à fait satisfaisante, et a été testée pour des fréquences de pulsations allant jusqu'à 80 Hz. Le taux de modulation très important de l'écoulement ne paraît pas être une limitation.

25 Les résultats obtenus sont donnés sur la figure 5, sur laquelle on a représenté respectivement sous la référence TPI (pour Tube de Pitot Instationnaire) la courbe de mesure obtenue à l'aide du système conforme à la présente invention, et sous la référence AFC la courbe de mesure obtenue à l'aide d'un procédé classique d'anémométrie à fil chaud.

L'erreur moyenne de la vitesse sur la courbe présentée est de : 1,75 %.

La sous-estimation moyenne du débit sur la courbe présentée est de : 0,5 %.

30 DEUXIEME MODE DE REALISATION PARTICULIER

Les inventeurs ont réalisé un deuxième système dans lequel on ne dispose plus de deux prises de pression statique placées sur une paroi plane parallèle à une vitesse unique.

35 D'une façon générale, cette circonstance peut se rencontrer soit lorsqu'on ne dispose pas de partie cylindrique où l'écoulement est parallèle, soit lorsque celle-ci est trop courte pour donner une différence de pression $p_1 - p_2$ pouvant être mesurée avec une précision suffisante. Dans ce cas, la détection d'accélération nulle est faite grâce au calcul de la vitesse et non plus à l'aide d'une comparaison de deux pressions statiques.

Les inventeurs proposent de plus d'utiliser pour ce second mode de réalisation particulier le théorème de l'énergie cinétique :

40

$$(12) \quad \int_D \frac{\partial}{\partial t} \left(\rho \frac{v^2}{2} \right) dv + \int_{\Sigma} \left(p + \rho g h + \rho \frac{v^2}{2} \right) u_j n_j d\sigma = P_{v\sigma} - P_{vD}$$

45

où $P_{v\sigma}$ et P_{vD} sont respectivement la puissance fournie par viscosité sur Σ et la puissance dissipée par frottement dans D que l'on peut supposer nulles (voir figure 6).

On peut considérer, le cas d'un écoulement entrant dans une conduite profilée 70 et un domaine D , comme représenté sur la figure 6, dont la partie Σ_0 de frontière extérieure à la conduite est dans le fluide au repos et à une pression p_0 , égale à la pression atmosphérique.

En désignant par p la pression statique mesurée à l'aide d'une prise de pression statique 73 sur la paroi 71 parallèle à l'écoulement, de la conduite 70, et en supposant l'entrée 72 de la conduite suffisamment bien profilée pour qu'il y ait peu de pertes de charges, on obtient l'équation:

55

$$(13) \quad \alpha \rho_1 \frac{\partial v}{\partial t} = (p - p_0) + \rho \frac{v^2}{2}$$

avec

$$(14) \quad \alpha = \int_D V^2 dv : \quad \text{Coefficient caractéristique de la répartition des vitesses}$$

5

coefficient caractéristique de la répartition des vitesses calculé une fois pour toutes comme indiqué par la suite. V_+ est une vitesse sans dimension.

L'équation (13), comme l'équation (7), nécessite de fournir une valeur initiale à la vitesse et son intégration numérique est susceptible de diverger dans le temps en raison des erreurs diverses (arrondis, erreur de mesures, ...). Ces problèmes sont résolus comme précédemment en plaçant une prise de pression totale 74 dans l'écoulement et en appliquant le théorème de Bernoulli au moment où l'accélération s'annule.

La résolution de l'équation (13) demande, en plus, la connaissance du coefficient α , lié à la géométrie de l'entrée de la conduite, et dont la détermination s'effectue une fois pour toutes. Celle-ci peut être effectuée de différentes manières, par exemple :

15 - par étalonnage comparatif ;

- en évaluant directement la vitesse de débit d'un écoulement périodique de période T.

Si la différence $v(n+kT) - v(n)$ est nulle, la valeur de α estimée est bonne. Dans le cas contraire on incrémente ou décrémente α pour converger vers la bonne valeur (assez proche de 1).

Plus précisément, on aperçoit sur la figure 7, une conduite profilée 70 dont l'entrée 72 diverge. Une prise de pression statique c1 73 placée à une distance 1 de l'embouchure de la conduite sur la paroi 71 de celle-ci mesure la pression statique p.

Une seconde prise de pression 74 c2 placée au centre de la conduite mesure la pression d'arrêt ou pression totale $p_{\text{arrêt}}$.

La structure de l'algorithme du procédé est la même que dans le cas de la première réalisation précitée.

25 Le procédé de mesure de vitesse comprend de ce fait, pour l'essentiel, les étapes consistant à :

- déterminer les évolutions de la vitesse entre les instants d'accélération nulle par intégration de l'équation :

$$(15) \quad v^{n+1} = v^n - \frac{\Delta t}{\alpha p_1} (p - p_0 + \frac{\rho(v^n)^2}{2})$$

30 - détecter les instants où l'accélération du fluide est nulle par surveillance du résultat du calcul précédent, c'est-à-dire par surveillance des instants où (16) $v^{n+1} = v^n$

- recalage de la valeur de la vitesse quand

$$(16) \quad v^{n+1} = v^n$$

à l'aide de l'équation

$$35 (17) \quad v = \sqrt{2 \frac{p_{\text{arrêt}} - p_1}{\rho}}$$

Une étude de faisabilité, réalisée sur un tube circulaire 70 comme représenté sur la figure 7 à l'entrée profilée 72 de diamètre 56mm, de longueur 1=70mm (longueur entre l'atmosphère libre et le capteur de pression 73) à l'amont du système d'admission d'un moteur automobile, a montré que la méthode est capable de déterminer correctement la vitesse dans le tube.

VARIANTE DE REALISATION UTILISANT LE THEOREME DES DEBITS DE QUANTITE DE MOUVEMENT

On va maintenant décrire une variante de réalisation utilisant le théorème des débits de quantité de mouvement.

45 Considérons, comme cela est schématisé sur la figure 8 annexée, un écoulement en conduite cylindrique de diamètre d (section S), comportant deux prises p1, p2 de pression statique distantes de la longueur 1. Le domaine D est un volume de surface fermée Σ , Σ est limitée en longueur par les deux sections S situées à l'endroit des prises de pression p1 et p2.

50 En appliquant les approximations classiques des écoulements en conduite et en appliquant le théorème des débits de quantité de mouvement au cas considéré (en projection sur l'axe), nous obtenons la formulation suivante :

$$55 \quad \int_D \rho \frac{\partial V}{\partial t} dv + \int_{\Sigma} V dq_{\text{ext}} = \sum F_{\text{ext}} + (p_1 - p_2) S$$

avec q_m = débit massique,
où les forces de viscosité représentées par la somme des forces extérieures sont souvent négligeables.
En régime permanent, l'équation devient :

5

$$\int_D \frac{\partial}{\partial t} (\rho V) dv + \frac{U_q^2}{2} (\beta_1 - \beta_2) S = (p_1 - p_2) S$$

10 où β_1 et β_2 sont des coefficients caractérisant le profil des vitesses, et U_q représente la vitesse sur l'axe de la conduite.

En intégrant le premier terme sur la surface S puis sur la longueur l , nous obtenons l'équation ci-dessous :

$$\rho_1 S \frac{dU_q}{dt} + \rho \frac{U_q^2}{2} (\beta_1 - \beta_2) S = (p_1 - p_2) S$$

15 où la variation de débit dU_q/dt est indépendante de la répartition des vitesses. Si le profil des vitesses est établi, alors β_1 est égale à β_2 . Nous pouvons connaître ainsi le débit en fonction de la pression différentielle ($p_1 - p_2$).

Le procédé de mesure peut alors être ainsi mesuré :

i) les instants où l'accélération du fluide est nulle, c'est-à-dire les instants où les pressions détectées par les capteurs p_1 et p_2 sont égales, sont détectés.

20 ii) aux instants où l'accélération est nulle, la vitesse du fluide est définie sur la base du théorème de Bernoulli comme indiqué précédemment.

iii) entre les instants où l'accélération est nulle, les évolutions de la vitesse sont déterminées par intégration numérique de l'équation :

25

$$\rho_1 S \frac{dU_q}{dt} = (p_1 - p_2) S$$

Bien entendu la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation particuliers qui viennent d'être décrits mais s'étend à toutes variantes conformes à son esprit.

30 Revendications

1. Procédé de mesure de la vitesse d'écoulement instationnaire d'un fluide, caractérisé par le fait qu'il comprend les étapes consistant à :

35 i) détecter les instants où l'accélération du fluide est nulle,
ii) définir une mesure de la vitesse du fluide aux instants où l'accélération est nulle, et
iii) déterminer les évolutions de la vitesse entre les instants d'accélération nulle par intégration numérique de l'écart entre deux pressions statiques.

2. Procédé de mesure selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'étape i) de détection des instants où l'accélération du fluide est nulle est opérée par calcul de la vitesse en cours.

3. Procédé de mesure selon la revendication 1, caractérisé par le fait que l'étape i) de détection des instants où l'accélération du fluide est nulle et opérée par détection de l'égalité des indications fournies par deux prises de pression statique.

45 4. Procédé de mesure selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que l'étape ii) consiste à définir la vitesse aux instants où l'accélération est nulle sur la base de la relation :

$$(8) \quad V = \sqrt{\frac{2(p_{\text{stat}} - p_1)}{\rho}}$$

50 avec

V = module de la vitesse

p_1 = pression statique

ρ = masse volumique locale du fluide.

55 5. Procédé de mesure selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé par le fait que l'étape ii) consiste à définir la vitesse aux instants où l'accélération est nulle sur la base de la relation :

$$(17) \quad V = \sqrt{\frac{2(p_{\text{stat}} - p_1)}{\rho}}$$

avec

V = module de la vitesse

ρ = masse volumique locale du fluide.

- 5 6. Procédé de mesure selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que l'étape iii) consiste à intégrer l'équation

$$(6) \quad a \frac{dV_0}{dt} + b \frac{V_0^2}{2} + \frac{p_1 - p_2}{\rho} = 0$$

avec a et b des constantes du système utilisé

10 V_0 = module de la vitesse

p_1 et p_2 = pressions mesurées au même instant en deux points du système, et

ρ = masse volumique locale du fluide.

- 15 7. Procédé de mesure selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que l'étape iii) consiste à intégrer l'équation :

$$(7) \quad \frac{dV_0}{dt} + \frac{p_1 - p_2}{\rho V_0} = 0$$

avec

V_0 = module de la vitesse

20 p_1 et p_2 = pressions mesurées au même instant en deux points du système,

1 représente la distance entre les deux points de mesure, et

ρ = masse volumique locale du fluide.

- 25 8. Procédé de mesure selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que l'étape iii) consiste à intégrer l'équation :

$$(13) \quad \alpha p_1 \frac{\partial V}{\partial t} = (p - p_0) + \rho \frac{V^2}{2}$$

avec

α représentant un coefficient d'énergie cinétique,

30 p représente la masse volumique locale du fluide,

1 représente la distance entre l'embouchure de la conduite et une prise de pression statique mesurant la pression p ,

p_0 représente la pression atmosphérique.

- 35 9. Dispositif de mesure de la vitesse d'écoulement instationnaire d'un fluide, pour la mise en oeuvre du procédé conforme à l'une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait qu'il comprend :

– des moyens aptes à détecter les instants où l'accélération du fluide est nulle,

– des moyens aptes à définir une mesure de la vitesse du fluide aux instants où l'accélération est nulle, et

40 – des moyens aptes à déterminer les évolutions de la vitesse entre les instants d'accélération nulle par l'intégration numérique de l'écart entre deux pressions statiques.

- 45 10. Dispositif de mesure selon la revendication 9, caractérisé par le fait que les moyens aptes à détecter les instants où l'accélération du fluide est nulle comprennent deux prises de pression statique (14, 16) et des moyens aptes à surveiller l'égalité des deux pressions mesurées.

- 50 11. Dispositif de mesure selon la revendication 9, caractérisé par le fait que les moyens aptes à détecter les instants où l'accélération du fluide est nulle comprennent des moyens de surveillance de la vitesse calculée.

- 55 12. Dispositif de mesure selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé par le fait qu'il comprend un obstacle du type tube de Pitot équipé de trois prises de pression.

- 55 13. Dispositif de mesure selon la revendication 12, caractérisé par le fait qu'il comprend deux prises de pression statique (51, 57) espacées sur une partie (52) de l'obstacle parallèle à l'écoulement, une prise de pression d'arrêt au nez de l'obstacle et deux capteurs de pression différentielle (c1, c2), ou trois capteurs de pression absolue.

14. Dispositif de mesure selon la revendication 13, caractérisé par le fait que les moyens aptes à définir la mesure de la vitesse du fluide aux instants où l'accélération est nulle exploitent l'équation

$$(8) \quad v = \sqrt{2 \frac{P_{\text{atm}} - P_1}{\rho}}$$

et, les moyens aptes à déterminer les évolutions de la vitesse exploitent l'équation

$$(7) \quad \frac{dV_0}{dt} + \frac{P_1 - P_2}{\rho} = 0$$

15. Dispositif de mesure selon l'une des revendications 9 ou 10, caractérisé par le fait qu'il comprend une conduite munie d'un rétrécissement et trois prises de pression statique.

16. Dispositif de mesure selon la revendication 15, caractérisé par le fait que les moyens de détection des instants d'accélération nulle comprennent des moyens de détection de l'égalité entre deux pressions statiques mesurées à distance sur une partie de la conduite de section constante, les moyens définissant la mesure de la vitesse du fluide aux instants d'accélération nulle exploitent la différence de pression entre l'une des pressions précitées et la troisième pression mesurée sur une zone de section différentielle de la conduite, et les moyens déterminant les évolutions de la vitesse intègrent la différence entre les deux pressions premières citées.

17. Dispositif de mesure selon la revendication 16, caractérisé par le fait que les deux pressions statiques premières citées sont prélevées sur une partie de section constante de la conduite tandis que la troisième pression est prélevée sur l'embouchure évasée de la conduite.

18. Dispositif de mesure selon la revendication 16, caractérisé par le fait que les deux pressions statiques premières citées sont prélevées à distance sur une partie de section constante de la conduite tandis que la troisième pression statique est mesurée au niveau d'un rétrécissement.

19. Dispositif de mesure selon la revendication 16, caractérisé par le fait que les deux pressions statiques premières citées sont mesurées au niveau d'un rétrécissement de section constante tandis que la troisième pression statique est mesurée à l'extérieur du rétrécissement.

20. Dispositif de mesure selon l'une des revendications 9 ou 19, caractérisé par le fait qu'il comprend une conduite profilée (70), un capteur de pression statique (73) sur la paroi de la conduite et un capteur (74) de pression totale.

21. Dispositif de mesure selon la revendication 20, caractérisé par le fait que

- les moyens aptes à détecter les instants d'accélération nulle surveillent la vitesse calculée ,
- les moyens définissant la vitesse aux instants où l'accélération est nulle exploitent l'équation

$$(17) \quad v = \sqrt{2 \frac{P_{\text{atm}} - P_1}{\rho}}$$

- les moyens déterminant les évolutions de la vitesse entre les instants d'accélération nulle exploitent l'équation :

$$(15) \quad v^{n+1} = v^n \frac{\Delta t}{\alpha \rho} \left(p - p_0 + \frac{\rho (v^n)^2}{2} \right)$$

avec

α représente un coefficient d'énergie cinétique,

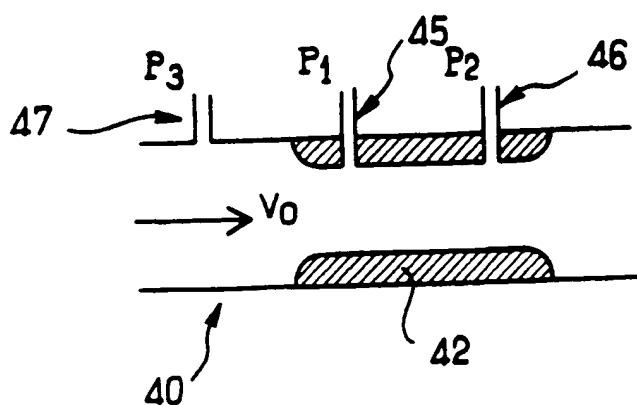
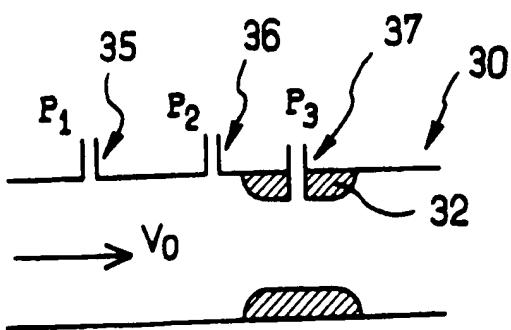
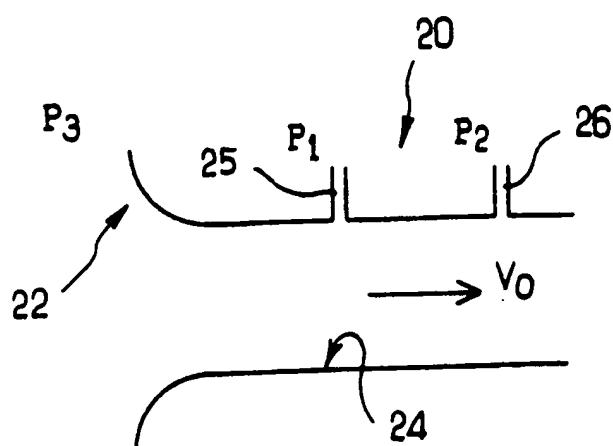
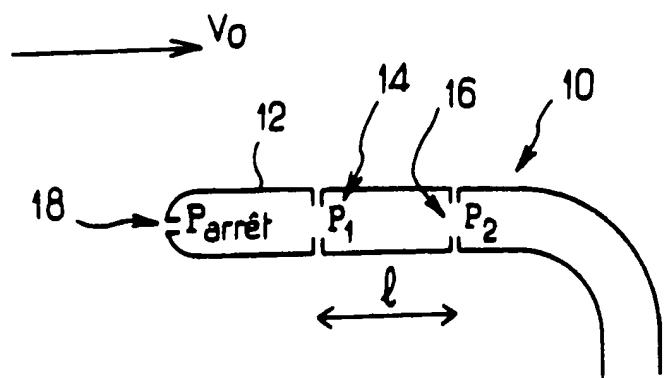
ρ représente la masse volumique du fluide,

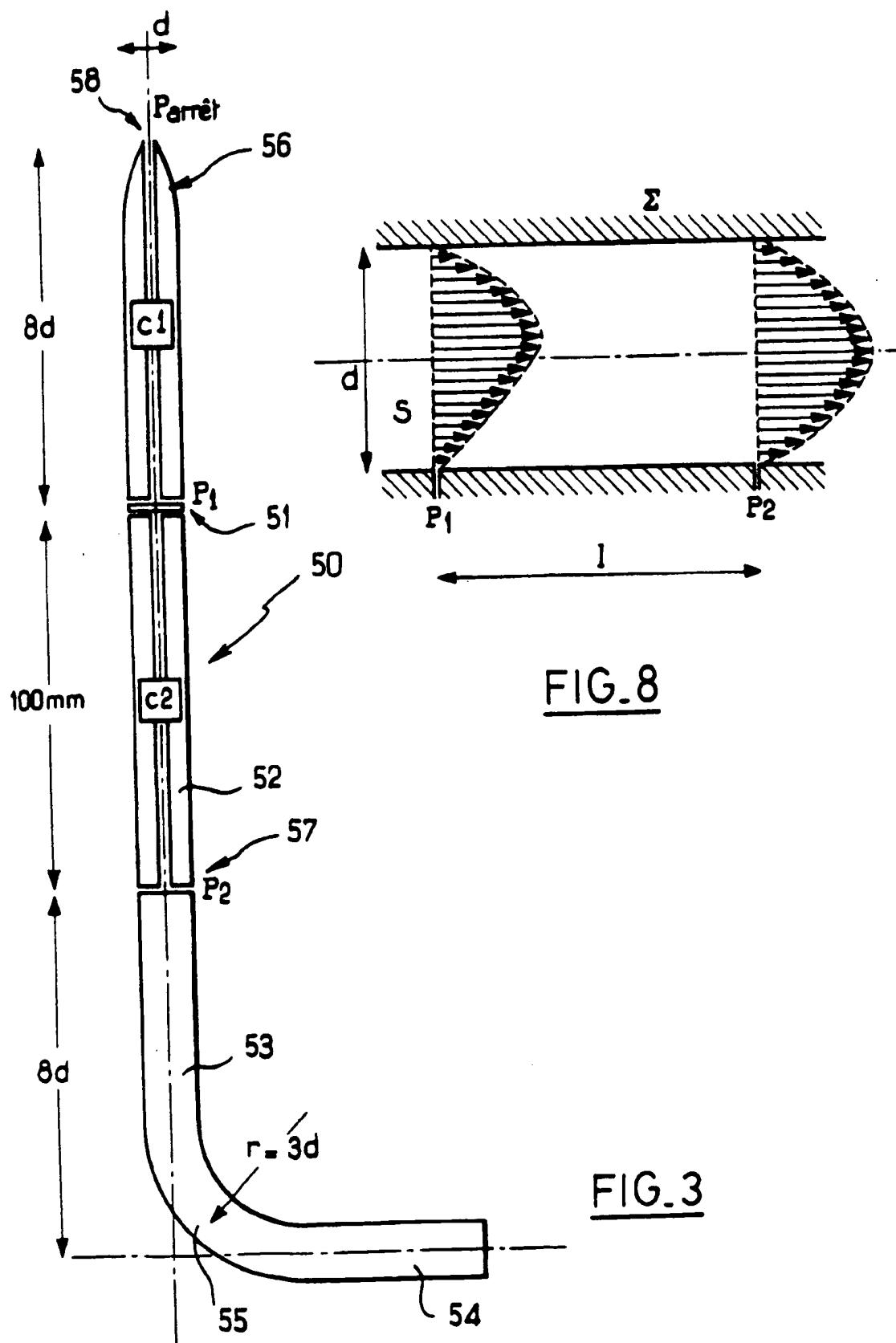
l représente la distance entre la prise de pression statique (73) et l'embouchure de la conduite,

p représente la pression statique,

p_0 représente la pression atmosphérique, et

P_{atm} représente la pression totale.





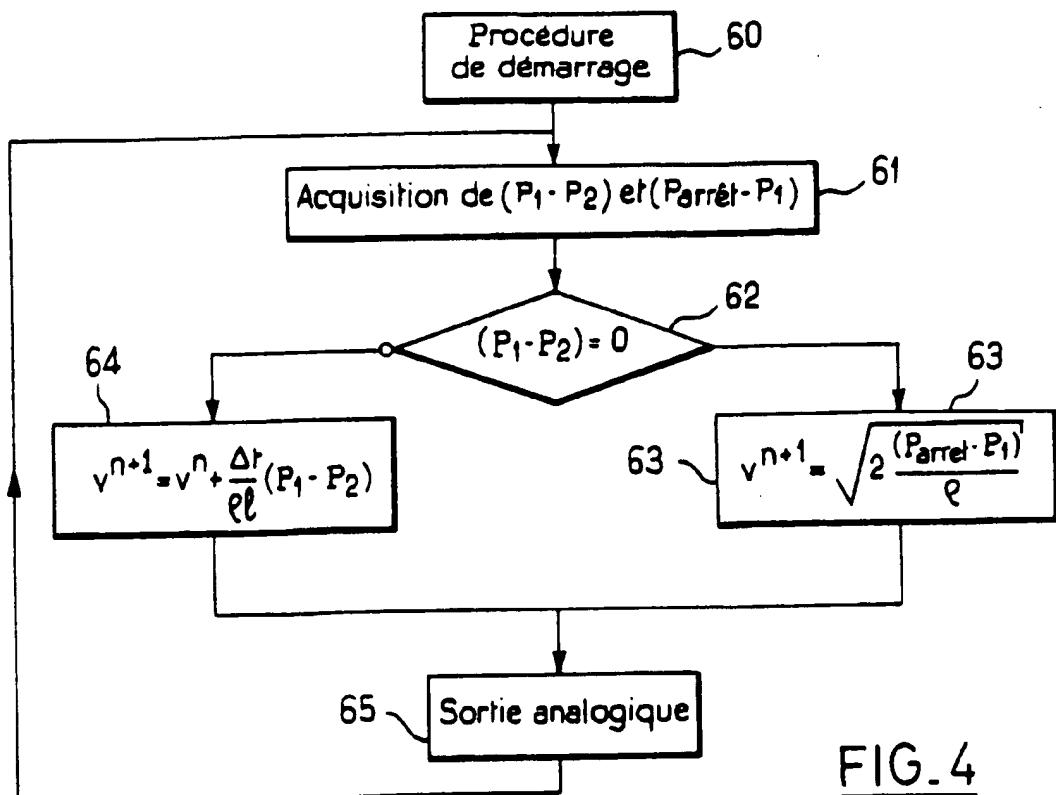


FIG. 4

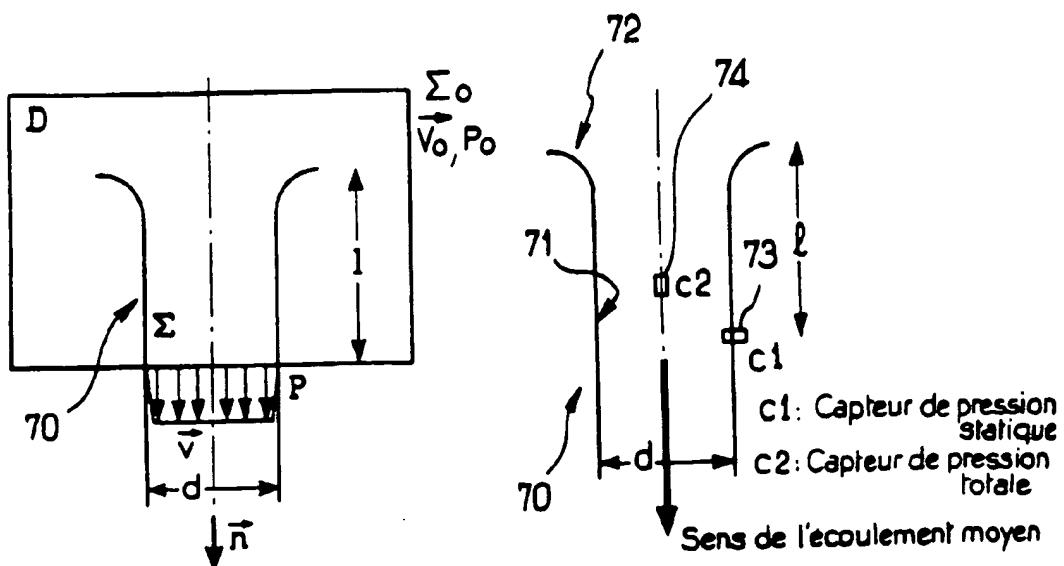


FIG. 6

FIG. 7

VITESSE DE DEBIT INSTATIONNAIRE

$F = 58,59 \text{ Hz}$
 $V_{\text{moy}} = 43,7 \text{ m/s}$
 Taux Mod: 0,173

TPI
AFC

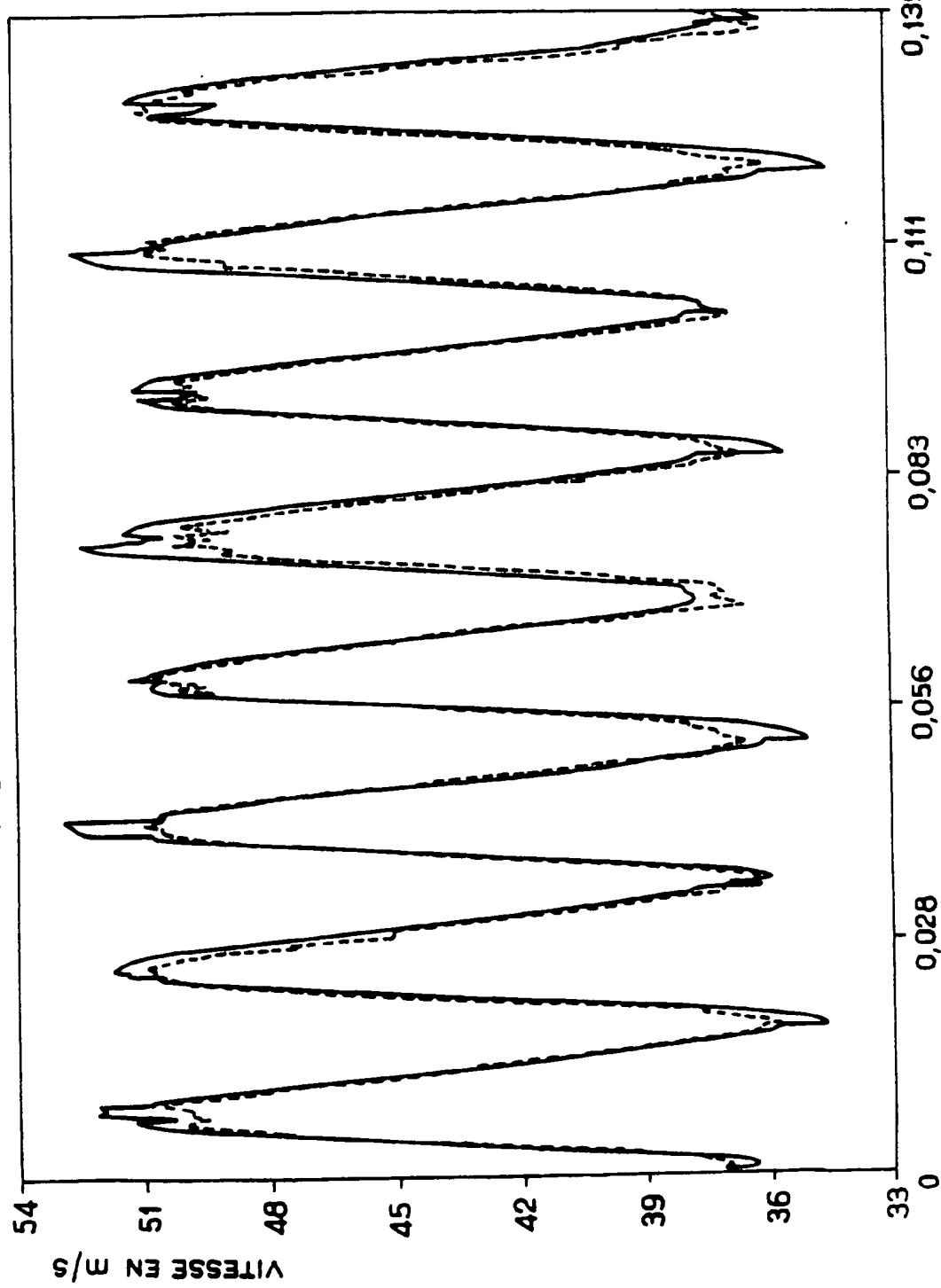


FIG. 5

Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 92 40 0147

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. CL5)						
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée							
A	FR-A-2 509 867 (INTERATOM INTERNATIONALE ATOMREAKTORBAU) *page 1, lignes 3-14; page 2, ligne 13 - page 3, ligne 24; page 4, ligne 15 - page 5, ligne 23; page 7, ligne 8 - page 9, ligne 19; figures * ---	1,9,15	G01P5/14 G01P5/16 G01F1/72 G01F1/36						
A	DE-A-3 203 986 (ROBERT BOSCH) * le document en entier * ---	1,3,9, 10,20							
A	US-A-4 956 997 (NAKAMURA) * le document en entier * -----	1,2,9,11							
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)						
			G01P G01F						
<p>Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Lieu de la recherche</td> <td style="width: 33%;">Date d'achèvement de la recherche</td> <td style="width: 34%;">Examinateur</td> </tr> <tr> <td>LA HAYE</td> <td>16 AVRIL 1992</td> <td>ROSE A. R. P.</td> </tr> </table> <p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrrière-plan technologique O : divulgation non écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>				Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur	LA HAYE	16 AVRIL 1992	ROSE A. R. P.
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur							
LA HAYE	16 AVRIL 1992	ROSE A. R. P.							

EPO FORM 1500 (02/82) (POUR)